

선박용강재 피로특성평가용 전문가시스템의 개발

Development of an Expert System for the Fatigue-Property Assessment of Ship Structural Steel

서정관*, 이제명**, 백점기**, 강성원**, 김명현**, 허희영***, 장태원***

* 부산대학교 조선해양공학과 대학원

** 부산대학교 조선해양공학과

*** 삼성중공업(주) 조선플랜트연구소

1. 서 론

피로특성의 평가는 기계구조물이나 기계부품을 설계하는데 있어 가장 필수적인 요소라 할 수 있다. 그리고 이러한 피로특성에 대한 정확한 평가를 위해서는, 대상구조물에 작용하는 하중이력이나 재료에 대한 정밀한 파악과 필요하다.

하지만, 다양한 형태로 나타나는 피로현상과 환경의 영향들을 매번 고려하면서 설계를 위한 예측활동을 수행한다는 것은 현실적으로 많은 무리가 따른다. 따라서 대부분의 피로문제에 있어서는 기존의 실험결과나 예측방법들을 바탕으로 피로특성평가를 하고 있는 것이 현실이다.

하지만, 구조물의 형상변경 혹은 새로운 강재의 채용 등과 같은 문제에서는, 추가적인 실험을 통한 방법 외에는 이렇다할 대안이 없다. 더구나 피로라고 하는 현상론적 특징상, 평가를 위해서는 장기간 실험을 요구하기 때문에 설계지원을 위한 실시간 follow-up이 사실상 불가능하다.

이러한 이유로, 최근의 몇몇 연구에서는 다양한 형태·목적의 전문가시스템을 개발하여 피로특성평가를 쉽게 하기 위한 시도를 하고 있다^[1]. 하지만 이들 연구의 대부분은, 파괴현상에 주안점을 두고 피로문제를 다루기보다는, 기존설계공식의 개량 등을 위주로 사용자편의를 고려한 전문가시스템의 개발이 주요목표가 되고 있다.

본 연구에서는, 피로현상의 가장 근본적인 원인이 되는 반복하중하의 재료파괴현상을 모델링하는 기술을 확립하고, 이 기술을 바탕으로 간단하게 피로특성을 평가할 수 있는 전문가시스템개발을 위한 기초연구를 수행한다.

개발시스템을, 수시로 설계변경이 요구되는 선

박구조물에 채용되는 선급용 강재를 대상으로 적용하여 활용가능성을 검토한다.

2. 피로에 의한 재료파괴

인장, 압축, 피로 등과 같은 다양한 형태의 하중을 받는 재료 및 기계구조물의 손상을 평가하고, 얻어진 손상량을 바탕으로 파괴현상을 예측하는 방법으로서, 연속체손상역학을 이용한 비선형 유한요소해석이 최근 주목받고 있다^[2].

고려 가능한 모든 비선형거동을 예측하고자 하는 비선형 유한요소해석에 있어서, 증분형 요소강성 방정식은 다음과 같이 구해진다^[2].

$$[k_e]\{\Delta u\} = \{\Delta f\} + \{\Delta f_p\} + \{\Delta f_T\} + \{\Delta f_D\} \quad (1)$$

$$[k_e] = \int_V [B_o]^T [\bar{D}_e] [B_o] dV \quad (2)$$

$$\{\Delta f_p\} = \int_V [B_o]^T [\bar{D}_e] \{\Delta \varepsilon^p\} dV \quad (3)$$

$$\{\Delta f_T\} = \int_V [B_o]^T [\bar{D}_e] \{\Delta \varepsilon^T\} dV \quad (4)$$

$$\{\Delta f_D\} = \int_V [B_o]^T \Delta D \{\bar{\sigma}\} dV \quad (5)$$

Eq. (5)에 대한 시간적분을 통하여 주어진 하중이력에서의 손상해석이 가능하게 된다. 위 식 중에 포함되는, 손상발전을 고려한 소성 변형률속도는 다음과 같이 주어진다.

$$\left\{ \dot{\varepsilon}^p \right\} = \frac{3}{2} \dot{p} \frac{\{\sigma^d\}}{\sigma_{eq}} \quad (6)$$

여기서,

$$\dot{p} = \left(\frac{2}{3} \left\{ \dot{\epsilon}^p \right\}^T \left\{ \dot{\epsilon}^p \right\} \right)^{1/2} = \left(\frac{\sigma_{eq} / (1-D) - R - k}{K} \right)^N \quad (7)$$

$$R = Q_1 p + Q_2 [1 - \exp(-bp)] \quad (8)$$

식 중에서, \dot{p} 는 누적 소성변형률 속도를 나타내며, 6개의 파라미터 K,N,k,Q1,Q2,b는 재료정수이다. 손상의 발전은 다음 식에 의해 표현된다.

$$\dot{D} = \left(-\frac{Y}{S} \right)^s \dot{p} \quad (9)$$

여기서, s 및 S는 손상발전에 관계하는 재료정수이며, 손상의 발전에 의해 개방된 변형률에너지 밀도에 해당되는 량 Y는 다음과 같이 정의된다.

$$-Y = \frac{1}{2E(1-D)^2} \left[\frac{2}{3} (1+\nu) \sigma_{eq}^2 + 3(1-2\nu) \sigma_H^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

Eq. (8)에 의해 계산되는 손상증분에 대해 시간적분을 수행하여 일정수준에 도달하면 재료파괴가 발생한 것으로 평가한다.

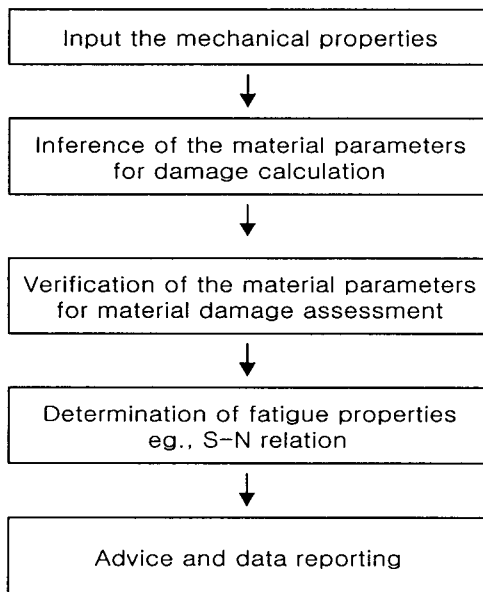


Fig. 1 Procedure for fatigue properties estimation using simple mechanical properties based on damage mechanics approach

3. 전문가시스템 개발

Eq. (1)-(10)을 바탕으로 개발된 유한요소 해석 코드를 탑재한 전문가시스템의 개요를 Fig.1에

나타낸다. 가장 쉽게 구할 수 있는 실험결과인 단축 인장시험결과(Young's Modulus, Yield strength, Tensile Strength, Fracture strain)를 재료물성치 입력값으로 두고, Eq. (7)-(9)의 과정에서 필요한 재료상수들을 선택하는 과정을 추론엔진으로 둔다.

단축인장 시험결과를 모델링할 수 있는 재료상수들이 선택되면, 이를 바탕으로 동일한 해석코드를 이용하여 반복하중하의 재료에 대한 피로해석을 수행한다.

해석은 재료특성 파악을 위한 것이므로, 3차원 솔리드 요소 한 개를 이용한다. 이러한 방법은 다양한 손상 및 균열발생 평가용 해석에서 이미 그 유용성을 검증하였으며, 퍼스널컴퓨터 기반 전문가 시스템 개발에 아주 유용하다.

관심의 대상이 되는 피로특성평가를 대표적인 S-N 관계를 이용하여 얻어내고 이들 결과를 정리하는 과정을 거친다.

4. 개발시스템 활용예

Fig. 2는 개발된 시스템의 활용예를 보이고 있다. 시스템의 유용성 검증을 위해, 노르웨이선급(DNV)기준 선급용강재에 대한 S-N 곡선과 본 시스템을 이용해서 얻은 S-N 곡선 예측결과를 Fig.3에 나타낸다. DNV의 S-N곡선은 Normal strength steel을 대상으로 한 것이며, 시스템상에서 적용한 강재는 High tensile strength steel 인 관계로 양자간의 비교에 있어 약간의 차이가 존재하지만, 피로강도 전체가 높게 나타나고 있는 것을 볼 때, 바람직한 결과를 주고 있음을 확인할 수 있다.

본 시스템에서는, 조선소에서 사용되는 각종 선급용 강재에 대한 S-N곡선 및 관련 지식들을 정리하여, Fig.4에서 보이듯이 해석을 통한 예측 기능과는 별개의 지식기반 데이터베이스도 구축하여, 컴퓨터기반 설계지원 도구로서의 기능을 추가하였다.

5. 결론

손상역학 수법을 이용하여 재료의 피로특성을 평가할 수 있는 기법을 개발하였고, 사용자 편의를 고려한 GUI type 전문가시스템 pilot code로 확장하였다.

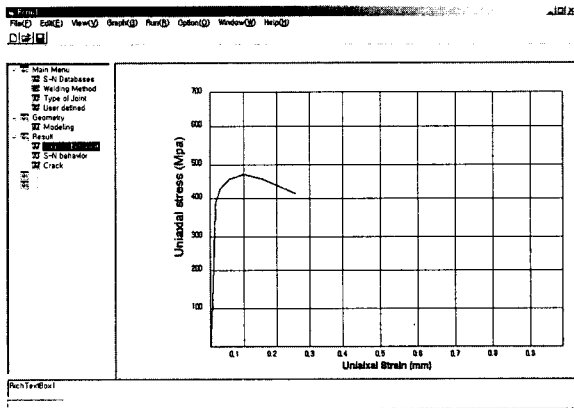


Fig. 2 Determination of material parameters based on uniaxial tensile analysis using inference engine

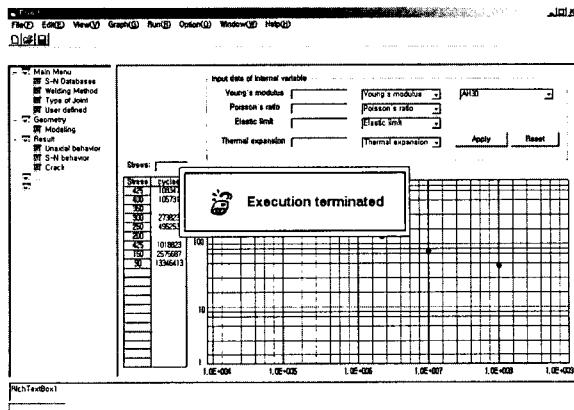


Fig. 3 Determination of fatigue properties(S-N relation)

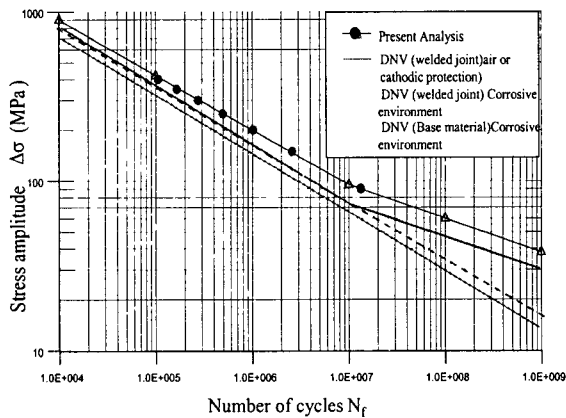


Fig. 4 A comparison between estimated S-N relation and DNV design rule

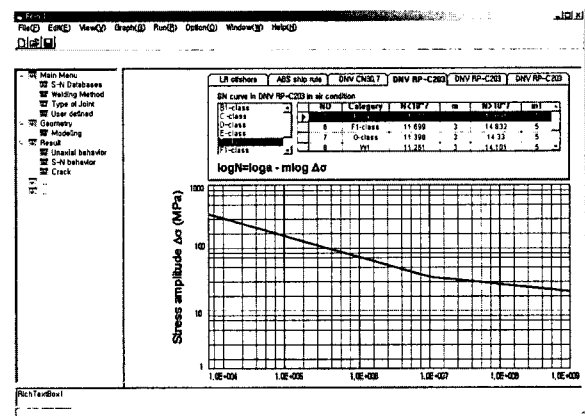
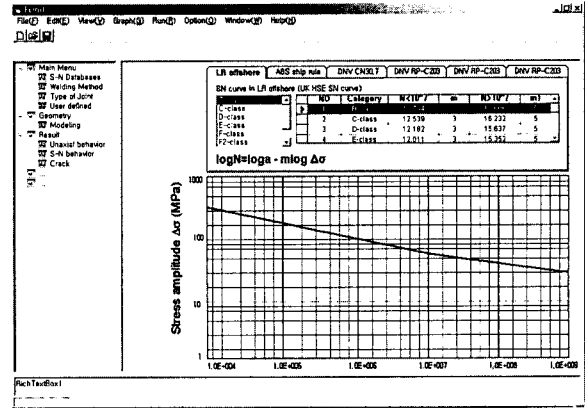


Fig. 5 Database of S-N relation proposed by each classification society for ship structural steel

본 연구를 통하여 일부 개발을 완료하였고 일부는 개발 중인 피로특성평가용 전문가 시스템은, 가장 효율적이고 비용절감을 기대할 수 있는 설계 지원용 시스템으로 활용할 수 있으리라 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 부산대학교 첨단조선공학연구센터와 삼성중공업(주)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 포함합니다.

참고문헌

1. W.S. Jeon and J.H.Song : An expert system for estimation of fatigue properties of metallic materials, Int. J. of Fatigue, Vol. 24, 2002, 685-698.
2. J. M. Lee and Y. Toi, : Elasto-plastic damage Analysis of functionally graded materials subjected to thermal shock and thermal cycle, JSME Int. J. Series A, Vol. 45, No.3, 2002, 331-338.